

УДК 624.

**Першаков В.М., Редько Є.**

*Національний авіаційний університет м. Київ*

## **НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПОКРИТТІВ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВОЇ СМУГИ У АЕРОПОРТУ ДОНЕЦЬК ВІД КОЛІСНОЇ ДІЇ ЛІТАКА А380-800**

**Актуальність роботи.** Із зростанням науково-технічного прогресу, проведення ЕВРО-2012 в Україні збільшилася кількість авіатransпортних перевезень, а також і рух аеродромної техніки та спецавтотранспорту по перону та по дорогам на ньому. Особливої актуальності набули розрахунок жорстких аеродромних покриттів та нежорстких покриттів бічних смуг безпеки. Для забезпечення безпеки польотів надважких широко фюзеляжних повітряних суден таких як А 380-800, В747-400, Ан-225 „Мрія” та інших має бути виконаний розрахунок покриттів льотного поля.

**Метою** роботи є виконання розрахунку на міцність покриттів бічних смуг безпеки та дослідження покриттів злітно-посадкової смуги у Міжнародному аеропорту «Донецьк». Вище наведена мета реалізується постановкою наступних **задач**: виконати аналітичний та чисельний розрахунки покриття бічної смуги безпеки від колісної дії надважкого повітряного судна А-380-800 і дослідити покриття ділянки злітно-посадкової смуги.

Предметом дослідження є комп'ютерне моделювання покриттів бічних смуг безпеки. Розв'язання поставлених задач здійснюється на основі аналітичного методу, методу скінченних елементів та методів оптимального проектування.

Злітно-посадкова смуга що проектується, займає площу 4000х60 м, бічні смуги безпеки мають ширину 60м. В геологічній будові площадки приймають участь: насипний шар – має локальне поширення, максимальна потужність 3,9 м; супісок лесовидний ІГЕ-2, потужність 1,0-1,5 м; пісок рихлий ІГЕ-4, потужність 0,9-1,6 м; супісок лесовидний ІГЕ-2, потужність 0,9-1,6 м; пісок дрібний середньої щільності ІГЕ-4а, потужність 1,9-2,8 м. Ґрунтові води в період вишукувань на глибині від 2,0 до 3,6 м.

У Міжнародному аеропорту «Донецьк» планується експлуатація наступних типів літаків: А380-800, В-757 200, В-747 400ER, В-737 200, Ан-225, Ан-124, ІЛ-62-М, Ту-154 та ін. Airbus А380 — широкофюзеляжний двопалубний чотирьохмоторний турбореактивний пасажирський літак, створений концерном «Airbus S.A.S.» — найбільший серійний авіалайнер у світі (висота 24,08м, довжина 72,75/80,65м, розмах крил 79,75м). Пасажиромісткість — 525 пасажирів в салоні трьох класів, 853 пасажирів в однокласовій конфігурації. Може здійснювати безпосадочні перельоти на відстань до 15400 км. А380 є найбільшим пасажирським авіалайнером в світі.

# Аналітичний розрахунок нежорсткого покриття бічної смуги безпеки (БСБ). Розрахунок по граничному стану нежорстких аеродромних покриттів

Знаходимо по формулі:  $\lambda_d \leq \gamma_c \lambda_u$ , (1)

де  $\lambda_d$  – розрахунковий відносний прогин покриття від навантаження;  $\gamma_c$  – коефіцієнт умов роботи в залежності від покриття, А  $\rightarrow \gamma_c=1$ ; Б, В  $\rightarrow \gamma_c=1.05$ ; Г  $\rightarrow 1.1$ ;  $\lambda_u$  – граничний відносний прогин покриття.

$$\lambda_d = 0.9 \frac{P_a}{E_{ed}}; \dots\dots\dots (2)$$

де  $P_a$  – тиск в пневматику;  $E_{ed}$  – еквівалентний модуль пружності нежорсткого покриття та ґрунтової основи, МПа;  $E_{ed}=E_{mt} \psi_k$ ;  $E_{mt}$  – середній модуль пружності багат шарової конструкції, включаючи покриття, штучну основу і насип з n- шарів в межах стискаємої товщі;  $\psi_k$  – коефіцієнт, визначається в залежності від співвідношення модулів  $E_{mt}$  та  $E_{ed}$ .

Приймаємо тиск в пневматику  $P_a = 1.5$  МПа для А380-800. Визначаємо середній модуль конструкції нежорсткого покриття та ґрунтової основи.

1) Захисний шар з ущільненого гран-відсіву товщиною 50мм. (2-тип гідрогеологічних умов, III дорожньо-кліматична зона)  $t_1=5$ см;  $E_1=130$  МПа;

2) Суміш ґрунту та вапна;  $t_2=60$ см;  $E_2 = 6,4 \cdot 10^2$  МПа;  $t_{tot} = t_1 + t_2 = 5+60=65$ см.

$$E_{mp} = \frac{E_1 \cdot t_1 + E_2 \cdot t}{t_{tot}} = \frac{130 \cdot 5 + 640 \cdot 60}{65} = 600,769 \text{ МПа} \quad (3)$$

3) Ґрунтова основа  $t_3=120.0$ см.;  $E_3=39.0$  МПа;  $t_4=400.0$ см;  $E_4=120.0$ МПа;  $t_5 = 130.0$ см;  $E_5=28.0$ МПа.

$$t_{tot} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = 5+60.0+120.0+400.0+130.0= 715 \text{ см}; \quad (4)$$

$$E_{me} = \frac{E_1 t_1 + E_2 t_2 + E_3 t_3 + E_4 t_4 + E_5 t}{t_{tot}} = \frac{130.0 \cdot 5.0 + 640 \cdot 60.0 + 39.120.0 + 120 \cdot 400 + 28.0 \cdot 130}{715} = 179,2 \text{ МПа.}$$

## Визначення діаметра круга рівновеликого площі відбитка пневматика одноколісного еквівалентного навантаження.

Вираховуємо по формулі:  $D_e = 2 \sqrt{\frac{F_e}{\pi P_a}}$ ,  $R_e = \frac{D_e}{2}$  (6)

$F_e$  - одноколісне еквівалентне навантаження, кН, яке змінює силовий вплив шестиколісної опори (для ПС А380-800) і яке дорівнює:

– при  $t_{tot} \leq \frac{a}{2}$ ,  $F_e = F_d$  – для одноколісного; (7)

– при  $t_{tot} \geq 2a_d$ ,  $F_e = F_n$  – опорна; (8)

– при  $\frac{a}{2} < t_{tot} < 2a_d$ ;  $F_{e=antilg} = \left( \frac{\lg n_k}{\lg \frac{4a_d}{a}} \lg \frac{2t_{tot}}{a} + \lg F_d \right)$ ; (9)

$$F_d = \frac{F_n}{n_k} K_d \gamma_f; \quad K_d = 1.25; \quad \gamma_f = 1.0, \quad P_a = 1.5 \text{ МПа}; \quad n_k = 6.0 \quad (10)$$

$$F_d = \frac{1140}{6} 1.25 \cdot 1.0 = 237.5 \text{ кН} = 23750.0 \text{ кг/с.} \quad (11)$$

$a/a_d$  – відповідно мінімальна та максимальна відстань між колесами в ортогональному і діагональному напрямках відповідно до схеми на рис. 2.2

$$R_d = \sqrt{\frac{F_d}{\Pi p_a}} = \sqrt{\frac{237.5 \cdot 10^3}{\Pi 1.5 \cdot 10^3}} = \sqrt{\frac{0.237.5}{\Pi 1.5}} = 0.2245 \text{ м.} \quad (12)$$

$$a_t 150.0 \text{ см}; \quad a_d = \sqrt{a_t^2 + e_t^2}; \quad a_d = \sqrt{150.0^2 + 170.0^2} = 226.716. \quad e_t 170.0 \text{ см};$$

$$a = a_t - 2R_d = 150 - 2 \cdot 22.45 = 105.1 \text{ см.} \quad t_{to} = t_o + 5.0 = 65 \text{ см}; \quad \text{В зв'язку з тим, що}$$

$$\frac{a}{2} < t_{tot} < 2a_d; \quad 52.05 \text{ см} = \frac{105.1}{2} < 65.0 < 2 \cdot 226.72 \text{ см} = 453.44 \text{ см.}$$

Для знаходження  $F_e$  використовуємо формулу (9):

$$Fe = \text{anti} \lg \left( \frac{\lg 6.0}{\lg \frac{4 \cdot 226.72}{105.1}} \lg \frac{2 \cdot 65.0}{105.1} + \lg 23750.0 \right) = \quad (13)$$

$$= \text{anti} \lg \left( \frac{0.77815}{0.93595} \cdot 0.0923 + 4.37566 \right) = \text{anti} \lg 4.452398$$

$$F_e = 10^{4.452398} = 28339.8796 = 283.3988 \text{ кН};$$

$$D_e = 2 \sqrt{\frac{283.3988 \cdot 10^3}{\Pi \cdot 1.5 \cdot 10^3}} = 2 \sqrt{\frac{0.2833988}{\Pi \cdot 1.5}} = 0.49046 \text{ м.} = 49.046 \text{ см.} \quad (14)$$

Відповідно до номограми на кресл. 7 прил. 10 СНиП 2.05.08-85 шукаємо відповідно до схеми навантаження  $\Psi_k = E_{ed} \setminus E_{mt} = 0.51$ ;  $E_{mt} = 179.2 \text{ МПа.}$ ;

$$t_{tot} = 65.0 \text{ см}; \quad \frac{t_{tot}}{D_e} = \frac{65.0}{49.046} = 1.3253; \quad \frac{E}{E_{mt}} = \frac{28.0}{179.2} = 0.1563; \quad \Psi_k = \frac{E_{ed}}{E_{mt}} = 0.51; \quad (15)$$

$$E_{ed} = E_{mt} \cdot \Psi_k = 179.2 \cdot 0.51 = 91.392 \text{ МПа.}$$

**Визначення відносного прогину.** Відповідно до формули (2) маємо:

$$\lambda_d = 0.9 \frac{1.5 \cdot 10^6}{91.392 \cdot 10^6} = 0.014772; \quad \lambda_d = \frac{U_{\max}}{D_e}, \text{ звідси } U_{\max} = D_e \cdot \lambda_d = 49.046 \cdot 0.014772 = 0.72 \text{ см.}$$

Відповідно по кресл. 8 прил. 10 в СНиП 2.05.08.85 шукаємо величину граничного відносного прогину покриття БСБ;

$$N_2 = N_1 \cdot 1 \cdot K_n = 20.0 \cdot 1 \cdot 20 = 40.0 \quad \lambda_u = 8 \cdot 10^{-3} = 0.0088; \quad 0.0147 = \lambda_d > \lambda_u = 0.0088;$$

Вирішимо  $\frac{0.0088 - 0.0147}{0.0088} = 67\%$ , проведемо вишукування. Відповідно до

формули (1) маємо:  $\lambda_d \leq 1.1 \cdot \lambda_u = 1.1 \cdot 0.008 = 0.0088$  Для бічної смуги безпеки достатньо.

**Визначення коефіцієнта постелі. Тип І** включає шари: Шар ІГЕ – І: супісок  $t_1 = 1,2 \text{ м}$ ,  $\gamma_1 = 1.8 \text{ г/см}^3$   $K_{s1} = 30 \text{ МН/м}^3$ . Шар ІГЕ – ІІ: пісок дрібний щільності -  $t_2 = 1,0 \text{ м}$ ,  $\gamma_2 = 1.7 \text{ г/см}^3$   $K_{s2} = 60 \text{ МН/м}^3$ ,  $t_1 = t_1 + t_2 = 1,2 + 1,0 = 2,2 \text{ м}$ ;

**Тип II** включає шари: ІГЕ – II: пісок дрібний сер. щільності -  $t_3 = 2,2$  м,  $K_{s3} = 60$  МН/м<sup>3</sup>,  $t_{II} = t_3 = 2,2$  м,  $\gamma_3 = 1.75 \text{ г/см}^3$ ; **Тип III** включає шари: Шар ІГЕ – II: пісок дрібний сер щільності -  $t_4 = 0,8$  м,  $K_{s4} = 60$  МН/м<sup>3</sup>, Шар ІГЕ – III: супісок пилюватий пластичний -  $t_5 = 1,3$  м,  $K_{s5} = 40$  МН/м<sup>3</sup>,  $t_{III} = t_4 + t_5 = 0,8 + 1,3 = 2,1$  м;

Визначаємо коефіцієнти постелі:

$$K_{sI} = \frac{K_{s1}t_1 + K_{s2}t_2}{t_1 + t_2} = \frac{30 \cdot 1,2 + 60 \cdot 1,0}{2,2} = 43,64 \text{ МН/м}^3 \quad K_{sII} = 60 \text{ МН/м}^3 \quad (16)$$

$$K_{sIII} = \frac{K_{s4}t_4 + K_{s5}t_5 + K_{s6}t_6}{t_4 + t_5 + t_6} = \frac{60 \cdot 0,8 + 40 \cdot 1,3}{2,1} = 47,62 \text{ МН/м}^3 \quad (17)$$

Еквівалентний коефіцієнт постелі визначаємо за формулою:

$$K_{se} = \frac{K_{sI} + K_{sII}\alpha_2 + K_{sIII}\alpha_3}{1 + \alpha_2 + \alpha_3}; \quad \alpha_2 = \frac{t_{II} [6D_2 - 1 + 0,5t_{II}]}{t_I [6D_2 - 0,5t_I]}; \quad \alpha_3 = \frac{0,5 [6D_2 - 1 + t_{II}]}{t_I [6D_2 - 0,5t_I]},$$

де  $D_2 = 3,6$  м для поза категорійного нормативного колісного навантаження повітряного судна маємо:

$$\alpha_2 = \frac{2,2 [6 \cdot 3,6 - 1 + 0,5 \cdot 2,2]}{2,2 [6 \cdot 3,6 - 0,5 \cdot 2,2]} = 0,528; \quad \alpha_3 = \frac{0,5 [6 \cdot 3,6 - 1 + 2,2]}{2,2 [6 \cdot 3,6 - 0,5 \cdot 2,2]} = 0,09; \quad (18)$$

$$K_{se} = \frac{43,64 + 60 \cdot 0,528 + 47,62 \cdot 0,09}{1 + 0,528 + 0,09} = 49,19 \text{ МН/м}^3 = 4,919 \text{ кгс/см}^3. \quad (19)$$

Для інженерно геологічного розрізу маємо еквівалентний коефіцієнт постелі:

$$K_{se} = 4,919 \text{ кг/см}^3.$$

**Чисельний розрахунок покриття бічної смуги безпеки від колісної дії надважкого повітряного судна А 380-800. Побудова розрахункової схеми, виходячи з плоскої задачі ТУ при поперечному розрізі по основній опорі під фюзеляжем з врахуванням симетрії.**

Одним з самих розповсюджених та ефективних чисельних методів, які використовують в інженерних розрахунках являється метод кінцевих елементів (МКЕ), який відноситься до варіаційних методів та являється одним з найбільш використовуваних способів побудови наближених рішень задач математичної фізики.

В даній роботі критерій витривалості ґрунтового напів простору для окремої локальної однорідної ізотропної області пропонується на основі розширеного критерію Мізеса /3/ з використанням поверхні порушення по критерію Кулона-Мора /4/ та з урахуванням другого та третього інваріанта тензора девіатора функцій напруг. В відповідності /2/ розширений модернізований критерій текучості Мізеса представлені в наступному вигляді:

$$f(\sigma^{ij}, S^{ij}) = \frac{2}{3} \sigma_{ij} S^{ij} (\cos \alpha - \frac{1}{\sqrt{3}} \sin \alpha \sin \varphi) - \left[ \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma^{ij} G_{ij} \sin \varphi \right] = 0, \quad (20)$$

де  $\sigma^{ij}, S^{ij}$  - компоненти повного загального та девіаторного тензора напруг;

$\alpha$  - параметр Лоде-Надам /4/, який являється функцією інваріантів  $I_1(\hat{S}), I_3(\hat{S})$ ;

$\varphi, c$  константа фізико-математичних характеристик ґрунтів  $Z$  кінцеву для рішення задачі витримки ґрунтового півпростору на основі МКЕ в якості вихідних співвідношень варіаційного рівняння рівноваги /2/ і рівняння поверхні навантаження в просторі повних напружень /1,2/.

На основі теорії пластичної текучості з використанням рівняння поверхні завантаженості /1,2/ виходить рівняння стану в приповерхневих (теорія пластичної текучості) /2/:

$$\sigma^{sj} = C_{(e,\varphi)}^{ijke} \gamma_{ij}; \quad (21,22)$$

$$C_{(e)}^{ijke} = C_{(e)}^{ijke} - \beta n^{ij} n^{ke},$$

де  $C_{(e)}^{ijke}, C_{(e,p)}^{ijke}$  - компоненти тензорів напруження в напруженій та напруго пластичній фазах розвитку напруго пластичних деформацій відповідно;  $n^{ij}$  - компоненти тензора другого рангу, який обумовлений розвитком пластичних деформацій --- функція напруженості (21) більше нуля.

В лінерізованій формі (21) співвідношення (22) зводяться до наступних:

$$C_{(e,p)}^{ijke} = C_{(e)}^{ijke} - \frac{2n}{S_k^i S_i^k} S^{ij} S^{ke}. \quad (23)$$

**Приведення еквівалентно круглого відбитка до квадратного.**

$$D_e = 49.046 \text{ см. Умова } S_1 = S_2; a^2 = \frac{PD_e}{4}; a = D_e \frac{\sqrt{P}}{2}; a = 49.046 * \frac{\sqrt{P}}{2} \cong 44.0 \text{ см.}$$

Для реалізації плоскої постановки задачі, коли враховується смугове навантаження (зімість розподіленого по прямокутному квадраті) необхідно інтенсивність цієї смуги навантаження привести до реального по прямокутнику. З врахування рекомендацій в /2/ упосередкований коефіцієнт переходу до величини інтенсивності смугового напруження  $K_p^{cp} = 0.6$ , точці в розрахунковій схемі для плоскої задачі слід враховувати навантаження інтенсивностей  $q = K_p^{cp} * P_a = 0.6 * 1.5 = 0.9 \text{ МПа} = 9.0 \text{ кгс} / \text{см}^2$  Визначення величини  $P$ -навантаження середньої опори з коефіцієнтами  $\gamma_e, K_p^{cp}, \gamma_c = 0.9$ .

$$P = \frac{2}{3} 44.0 * 1 * 9.0 * 0.9 = 237.6 \text{ кгс}$$

**Корегування фізико-механічних характеристик ґрунта.** З використанням формул (3) маємо наступні параметри корегування фізико-механічних характеристик (основний шар):

$$\gamma_0 = 0.00170 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^3}; Z_0 = 615 \text{ см. } K_0 = 1.25 \sqrt{0.00170 * 615} = 1.307.$$

$$E_0^0 = 500.0 * 1.307 = 653.5 \text{ кгс} / \text{см}^2 \quad C_0 = 0.02 * 1.307 \approx 0.026$$

$$\text{- Включення типу 1 } \gamma_1 = 0.0015; Z_1 = 465 \text{ см} \quad K_1 = 1.25 \sqrt{0.0015 * 465.0} = 1.25 * 0.83516 = 1.044$$

$$E_0^1 = 300.0 * 1.044 = 313.2 \text{ кгс} / \text{см}^2 \quad C_1 = 0.15 * 1.044 = 0.1566 \text{ кгс} / \text{см}^2$$

$$\text{- Включення типу 2 } \gamma_2 = 0.0016; Z_2 = 335.0 \text{ см}$$

**Корегування фізико-механічних характеристик багат шарового ґрунтового на півпростору.** Використовується формула (3):

$$E(zi) = K_u \sqrt{\gamma_i z_i} * E_0; C(zi) = K_u \sqrt{\gamma_i z_i} * C_0,$$

де  $K_u$  - коефіцієнт умов роботи для розглядаємого випадку  $K_u = 1.25$ ;

$\gamma_i, z_i$  - питома вага та координата центра ваги розглядаємого шару;

$E_0, C_0$  - модуль загальної деформації та коефіцієнт зчеплення для даного шару багатошарового на півпростору. В даному випадку маємо наступні значення параметрів фізичних шарів.

- Основний шар – нульовий  $\gamma_0 = 0.00175 \text{ кгс} / \text{см}^3$ ;  $Z_0 = 650.0 \text{ см}$ ;

$K_0 = 1.25 \sqrt{0.00175 * 650} = 1.33318$ ;  $E_0^0 = 280 * 1.33318 = 373,29 \text{ кгс} / \text{см}^2$ ;

$C_0^0 = 0.12 * 1.33318 = 0.160 \text{ кгс} / \text{см}^2$ ;

- включення шарів типу 1  $\gamma_1 = 0.00170 \text{ кгс} / \text{см}^3$ ;  $Z_1 = 385.0 \text{ см}$

$K_1 = 1.25 \sqrt{0.00170 * 385.0} = 1.25 * 0.809 = 1,0113$   $E_1^1 = 1.0113 * 1200. \cong 1214,0 \text{ кгс} / \text{см}^2$

$C_1^1 = 1.0113 * 0.02 \cong 0.020 \text{ кгс} / \text{см}^2$

- включення шарів 2-го типу, має коефіцієнт  $K_2 \approx 1.0$ ,  $E_0^2 = E_0$ ;  $C_2^2 = C_2$ .

**Побудова дискретної моделі.** Враховуючи параметри еквівалентних перерізів конструкцій покриття, штучної основи, усереднених коефіцієнтів та ґрунтового багатошарового на півпростору, збудуємо дискретну модель та розрахункову схему для розглядуваної задачі з урахування площини симетрії, яка проходить через центрову вісь фюзеляжу літака. Розрахункова схема та дискретна модель представлена на мал.1. Розрахунковий фрагмент напівпростору має розміри: ширина - 3000 см, глибина – 715 см, товщина напівпростору 1 см. Сіткова область розрахункової схеми на рис. 1 має розміри  $S_1 = M_1 = 2$ .  $S_2 = M_2 = 23$ .  $S_3 = M_3 = 23$ ., що відповідає 484 кінцевим елементам, числу вузлів КЕ моделі.  $\text{NuX} = 2 * 23 * 23 = 1058$  та числу розв'язуючих рівностей  $K = 3 * \text{NuX} = 3 * 1058 = 3174$ .  $Z$  - умова розрахункового фрагменту (в глобальній системі координат):

1) по площині симетрії  $Z^1 O Z^3$  накладаються зв'язки на переміщення та кути повороту по напрямку  $Z^2$ ;

2) По нижній грані розрахункового фрагменту моделюється границя активної зони ґрунтової основи при цьому накладаються зв'язки на переміщення по напрямку глобальної системи координат  $Z^2, Z^3$  (нерухомий шарнір);

3) Побічні грані напів простору – границі розрахункового фрагменту бокової смуги безпеки накладаються зв'язки на переміщення по напрямку  $Z^2$  (рухомий шарнір).

Зовнішня взаємодія від колісного навантаження основної опори під фюзеляжем приведеною до смугового навантаження інтенсивністю  $q = 9.0 \text{ кгс} / \text{см}^2$  на інтервалі по верхній кромці розрахункової схеми з сітковими коефіцієнтами вузлів  $S_3 = M_3 = 23 (\text{const})$ ,  $S_2 = 6 - 8$ .

Горизонтальні шари визначаються неоднорідністю ґрунтового напів простору моделюються головним шаром та включеннями типу 1,2,3. Третій шар – моделює еквівалент самого жорсткого покриття бічної смуги безпеки:

- 1)  $N_2^0 = 1; N_3^0 = 1; K_2^0 = 23; K_3^0 = 5$ ; (головний шар);
- 2)  $N_2^1 = 1; N_3^1 = 5; K_2^1 = 23; K_3^1 = 15$ ; (включення типу 1);
- 3)  $N_2^2 = 1; N_3^2 = 15; K_2^2 = 23; K_3^2 = 19$ ; (включення типу 2);
- 4)  $N_2^3 = 1; N_3^3 = 19; K_2^3 = 23; K_3^3 = 23$ ; (включення типу 3).

**Висновки.** Результати дослідження НДС розглядаємого напів простору конструкції покриття нежорсткого типу у взаємодії з ґрунтовою основою на глибину 7.15м представлені у вигляді зони розповсюдження пластичних деформацій. Значення переміщень та внутрішніх навантажень в характерних перерізах (по площині симетрії навантаження і обмежуючою верхньою поверхнею напів простору) від додаткового поверхневого навантаження; графіків – епюр переміщень та стискаючих напружень. За цими даними побудовані графіки-епюри переміщень и стискаємих напружень, які представлені на рис.1.

Деякі з числових результатів по переміщенням без урахування пластичних деформацій зрівнювались з отриманими аналітичним способом. Максимальний прогин під пневматиком

$$U_{\max}^a = 0.72 \text{ см}; U_{1025}^{3'} = 0.865 \quad \text{Маємо різницю } \Delta u\% = \frac{(0.865 - 0.72)}{0.865} * 100 \cong 16.7\%$$

Відомо, що визначити точно деформації в ґрунтовому напів просторі, практично неможливо. Є чимало моделей, визначаючих рівняння стану, виходячи з цього приведена різниця прийнятна. Максимальні переміщення отримані з врахуванням пластичних деформацій і складають :

$$U_{1025}^{31} = -1.61 \text{ см.}$$

це реальні переміщення по яким можна робити оцінку БСБ і вони

можуть бути отримані тільки по справжній методиці.

Аналізуючи епюру нормальних навантажень, яка приведена на рис.1 можна стверджувати, що в точці перегину коли сумарна епюра спочатку різко зменшується (від додаткового навантаження), а потім випрямляється і зростає по лінійному закону, на відрізку нище точки С напруження від додаткового колісного навантаження практично зводиться до нуля. Таким чином локально від місцевого дії колісного навантаження без врахування пластичних деформацій активна зона стиску дорівнює  $h_c = 4.0 \text{ м}$ .

### Список використаної літератури

1. СНиП 2.05.08-85. Аэродромы. – М.: Госкомитет СССР по делам строительства, 1985.-85с.
2. Цыхановский В.К., Козловец С.М., Коряк А.С. Расчет тонких плит на упругом основании методом конечных элементов. -К.: Издательство «Сталь», 2008, -234с.
3. Цыхановський В.К., Прусов Д.Е. Нелінійна задача граничної рівноваги ґрунтових масивів при взаємодії з огорожувальними конструкціями. Промислове будівництво та інженерні споруди №4, 2009. -К.: ВАТ «УкрНДІ-проектстальконструкція» ім.В.М. Шимановського, с.12-17.
4. Теялес Д.К. Приложения метода граничных элементов для решения неупругих задач. -М.: Стройиздат, 1987. 160с.

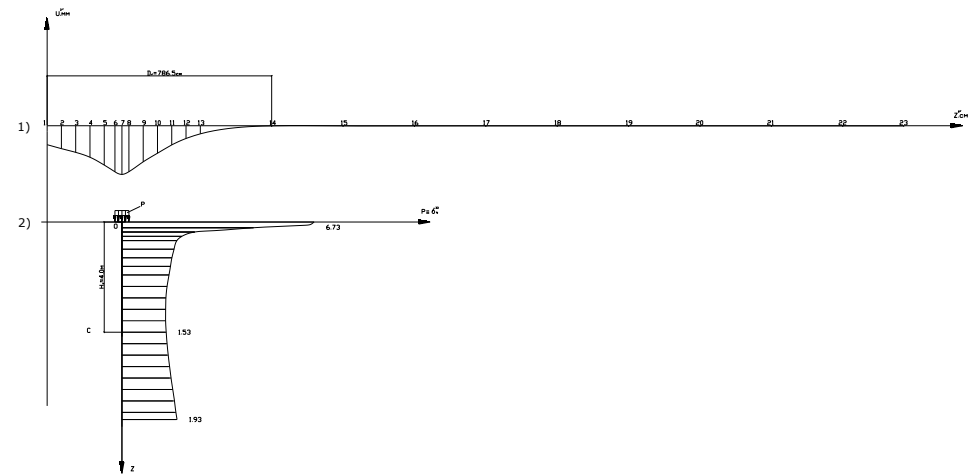


Рис 1. Результати чисельного розрахунку покриття смуги безпеки:

- 1) Епюра прогинів верхньої площини напів простору;
- 2) Епюра нормальних напружень по центру колісної дії.



